

Method for making thin film bulk acoustic resonators (FBARS) with different frequencies on a single substrate and apparatus embodying the method

Patent Number: ☐ [US2002123177](#)
Publication date: 2002-09-05
Inventor(s): LARSON JOHN D (US); BRADLEY PAUL D (US); RUBY RICHARD C (US)
Applicant(s):
Requested Patent: ☐ [JP2002335141](#)
Application Number: US20010799148 20010305
Priority Number(s): US20010799148 20010305
IPC Classification: H01L21/00
EC Classification: [H03H9/56](#), [H03H3/04](#)
Equivalents: ☐ [DE10207341](#)

Abstract

A method for fabricating a resonator, and in particular, a thin film bulk acoustic resonator (FBAR), and a resonator embodying the method are disclosed. An FBAR is fabricated on a substrate by introducing a mass loading top electrode layer. For a substrate having multiple resonators, the top mass loading electrode layer is introduced for only selected resonator to provide resonators having different resonance frequencies on the same substrate

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2002-335141

(P2002-335141A)

(43) 公開日 平成14年11月22日(2002. 11. 22)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H O 3 H 3/02		H O 3 H 3/02	B 5J108
H O 1 L 41/09			F
	41/22	H O 1 L 41/22	Z
H O 3 H 9/17			C

審査請求 有 請求項の数9 O L (全9頁)

(21) 出願番号 特願2002-57312(P2002-57312)
(22) 出願日 平成14年3月4日(2002. 3. 4)
(31) 優先権主張番号 799148
(32) 優先日 平成13年3月5日(2001. 3. 5)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 399117121
アジレント・テクノロジーズ・インク
AGILENT TECHNOLOGIES, INC.
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト
ページ・ミル・ロード 395
(72) 発明者 リチャード・シー・ルビー
アメリカ合衆国カリフォルニア州メンロ・パーク
ナインス・アベニュー567
(74) 代理人 100105913
弁理士 加藤 公久

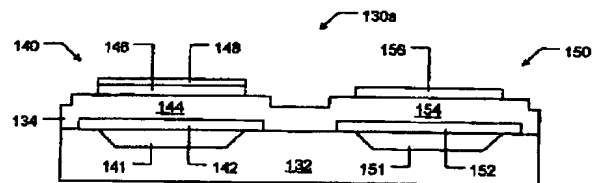
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共振器の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 同一基板上に共振周波数の異なる共振器を組立てる。

【解決手段】 基板(132)上に共振器(140)を製造する方法では、底部電極(142)を作り、圧電(PZ)層(134)を作り、表面電極層(136)を作り、表面負荷層(138)を作り、前記表面負荷層(138)をオーバーエッチングし、前記表面負荷層(138)と前記表面電極層(136)が、表面電極(146+148)を形成するようにエッチングする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】基板上に共振器を製造する方法において、底部電極を作り、圧電（PZ）層を作り、表面電極層を作り、表面負荷層を作り、前記表面負荷層をオーバーエッチングし、前記表面負荷層と前記表面電極層が、表面電極を形成するようにエッチングする共振器の製造方法。

【請求項 2】前記オーバーエッチングする工程が、前記表面負荷層をマスクングし、前記表面負荷層をオーバーエッチングして前記表面負荷層のマスクングされていない部分と前記表面負荷層のマスクングされていない前記部分下方の前記表面電極層の部分を削除するようにした請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 3】前記マスクが、二酸化ケイ素（SiO₂）である請求項 2 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 4】前記表面負荷層が、約 10～100nm の厚さである請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 5】前記表面負荷層が、導電性材料を含む請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 6】前記表面負荷層が、絶縁性材料を含む請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 7】前記表面負荷層と前記表面電極層が、同一の材料を含む請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 8】前記 PZ 層が、窒化アルミニウム（AlN）を含む請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 9】前記共振器が、空洞をまたぐようにした請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、音響共振器に関し、さらに詳しくは、電子回路におけるフィルタとして使うことができる共振器に関する。

【0002】

【従来の技術】電子機器のコストとサイズを低減する要求は、より小型な信号フィルタへの限らないニーズにつながる。セルラー電話や小型ラジオのような民生電子製品は、その製品に内蔵されている部品の大きさとコストにきびしい制限を与えられている。このような製品の多くは、精密な周波数に同調されなければならないフィルタを使っている。従って、安価で簡素なフィルタユニットを提供するために絶え間のない努力が続けられている。

【0003】これらのニーズを満足させる可能性を持ったフィルタの一種類が、薄膜バルク音響共振器（FBAR）から構成されている。これらの装置は、薄膜圧電（PZ）材料中のバルク縦音波を用いている。その一つの簡単な構成において、PZ 材料の層が、二つの金属電極間に挟持されている。この挟持構造は、支持構造によ

って空気中に懸架されることが好ましい。電界が金属電極間に加えられるとき、PZ 材料が、電気エネルギーのいくらかをメカニカルウェーブの形に変換する。このメカニカルウェーブは、電界と同じ方向に伝播し、電極／空気インターフェースで反射する。

【0004】共振周波数において、装置は、電子的な共振器と考えられる。二つ以上の共振器（異なる共振周波数を有する）が電氣的に接続されると、この集合体は、フィルタとして働く。共振周波数は、材料中におけるメカニカルウェーブの所定の位相速度に対して、装置内を伝播するメカニカルウェーブの 1/2 波長が装置の全体的な厚さに等しくなるような周波数である。メカニカルウェーブの速度は光速度よりも 4 桁小さいので、構成される共振器は、非常に簡素になる。GHz 範囲の共振器のアプリケーションは、横方向において 100 μm 以下のオーダーのおよび厚さ方向において数 μm のオーダーの物理的な寸法を備えた共振器の構成を可能にする。

【0005】マイクロ波分野での小型のフィルタを設計して製造するとき、共振器（例えば、FBAR）間で、通常数%だけのほんの少し異なる共振周波数を備えるようにする必要をしばしば生じる。一般的に、二つ異なる周波数で十分であるが、より一般的なフィルタ設計では、それぞれ異なる共振周波数を備えた三つ以上の共振器を必要とすることがある。これらのフィルタにおいていつも存在する問題は、共振器の共振周波数を精密にずらすことと、同時に、単一のウェーハ上あるいは基板上にそれら共振器を作り上げることである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】共振器の周波数が共振器の厚さに反比例することは、周知である。単一の基板上にずれた周波数を備えた多数の共振器を作るために、表面の金属電極を質量負荷する技術が、1999 年 4 月 20 日に Lakin などに与えられた米国特許第 5,894,647 号に開示されている。しかしながら、それぞれの共振器が同一の基板上で異なる共振周波数を有するようにするために、さらに別の技術が求められる。

【0007】

【課題を解決するための手段】このニーズは、本発明によって満足される。本発明の一つの特徴によれば、基板上に共振器を作るための方法が、開示される。底部電極、圧電（PZ）層、表面電極層、および、表面充填電極層が、作られる。次いで、表面充填電極層が、オーバーエッチングされ、表面負荷層と表面電極層が、表面電極を形成するようにエッチングされる。

【0008】本発明の他の特徴によれば、基板上に共振器を備えた装置が、開示される。まず、第 1 の底部電極と第 2 の底部電極が作られ、圧電（PZ）層が、第 1 の底部電極と第 2 の底部電極両方の上に作られ、PZ 層は、第 1 の底部電極の上に第 1 の部分と、第 2 の底部電極の上に第 2 の部分を備える。次いで、表面電極層が、

作られるが、表面電極層は、前記第 1 の部分の上に第 1 のセクションと、前記第 2 の部分の上に第 2 のセクションを備える。次に、表面充填電極層が、この第 1 のセクションの上に作られる。最終的に、表面充填電極層が、オーバーエッチングされ、表面負荷層と表面電極層がエッチングされて第 1 の表面電極を形成する。

【0009】本発明の他の特徴および利点は、本発明の原理を実施例によって説明するための添付の図面との組み合わせにより行われる以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

【0010】

【発明の実施の形態】説明のための図面から明らかなように、本発明は、複数の共振器を単一の基板上に組立かつ異なる共振周波数を備える技術として実施される。

【0011】1. 圧電層に質量負荷する薄膜共振器の製造について

本発明の第 1 の実施例では、基板上に第 1 の共振器と第 2 の共振器を備えた装置が、開示されている。第 1 の共振器は、二つの電極と、これらの二つの電極に挟持された第 1 の圧電 (PZ) 層を備えている。第 2 の共振器は、二つの電極と、これらの二つの電極に挟持された第 2 の PZ 層を備えている。この第 1 の PZ 層は、コア PZ 層と追加の PZ 層を備え、第 2 の PZ 層は、コア PZ 層のみを備えている。従って、第 1 の PZ 層は、第 2 の PZ 層よりも厚く、第 1 の共振器は、第 2 の共振器の共振周波数よりも低い共振周波数を有している。

【0012】図 1 において、本発明の第 1 の実施例による装置 10 が示されている。装置 10 は、基板 12 上に形成された第 1 の共振器 20 と第 2 の共振器 30 とを備えている。一つの例として、基板 12 は、シリコン基板である。共振器 20 と 30 は、メカニカルウェーブを用いる音響共振器である。そのために、図示されている共振器 20 と 30 のそれぞれは、それぞれ空洞 21 と 31 の上に作られている。例えば、2002 年 5 月 9 日に Ruby 等に与えられた米国特許第 6,060,818 号は、この方法を示しており、本発明にも適用できるその他の詳細も開示されている。

【0013】本明細書の発明の実施の形態におよび他において、用語「第 1 の」および「第 2 の」は、類似した装置あるいは装置の部品における異なる存在を便宜的に区別するために使われ、これらの用語が使われる特定の文脈において適用されるものである。しかしながら、材料、処理、および、いずれかの部分において述べられている装置の様々な部品の一般的なおよび相対的な寸法および位置は、一区分において述べられたものであってもこの明細書を通じて使えるものとする。

【0014】第 1 の共振器 20 は、空洞 21 (「第 1 の空洞」) 上をまたぐように作られ、底部電極 22 (「第 1 の底部電極」)、表面電極 26 (「第 1 の表面電

極」)、および、第 1 の底部電極 22 と第 1 の表面電極 26 の間に挟持された PZ 材料を含んでいる。PZ 材料は、PZ 層 14 (「コア PZ 層」) の部分 24 (「第 1 の部分」) および第 1 の部分 24 の上の追加の PZ 層 25 を含んでいる。第 1 の部分 24 は、ほぼ第 1 の底部電極 22 の上に位置する PZ 層 14 の一部分である。参照番号 24 は、PZ 層 14 の第 1 の部分 24 の全般的な領域を指示する。

【0015】PZ 層 14、追加の PZ 層、あるいは、その両方は、窒化アルミニウム (AlN) あるいは他の適当な圧電材料を用いて構成できる。電極、例えば第 1 の底部電極 22 は、モリブデンを使える。しかしながら、電極には他の適当な導電体も使うことができる。

【0016】第 2 の共振器 30 は、空洞 31 (「第 2 の空洞」) 上に作られ、底部電極 32 (「第 2 の底部電極」)、表面電極 36 (「第 2 の表面電極」)、および、第 2 の底部電極 32 と第 2 の表面電極 36 の間に挟持された PZ 材料を含んでいる。PZ 材料は、コア PZ 層 14 の部分 34 (「第 2 の部分」) を含んでいる。第 2 の部分 34 は、ほぼ第 2 の底部電極 32 の上に位置するコア PZ 層 14 の一部分である。参照番号 34 は、コア PZ 層 14 の第 2 の部分 34 の全般的な領域を指示している。

【0017】第 1 と第 2 の共振器 20 と 30 の大きさは、必要な共振周波数に対応している。例えば、1900 MHz の共振周波数を備える共振器に対しては、共振器 20 と 30 のそれぞれの大きさは、約 30,000 平方 μm をカバーする約 $150 \times 200 \mu\text{m}$ となる。このような周波数と大きさでは、電極 22 と 26 は、通常それぞれ約 150 nm の厚さとなり、コア PZ 層 14 は、約 2100 nm の厚さとなる。1900 MHz よりも 3% 程度低い共振周波数を得るためには、PZ 材料の厚さは、約 110 nm 増加する。すなわち、追加の PZ 層の厚さは、コア PZ 層 14 の厚さの約 1~8% となる。これは、第 1 の共振器 20 についての説明である。もちろん、これらの測定値は、材料や共振周波数に応じて異なるものである。本発明の説明を明瞭なものとするために、図 1 の装置 10 の種々の部材は、装置の 10 における他の部材と完全に縮尺が合っているわけではない。追加の PZ 層 25 の厚さは、コア PZ 層 14 の厚さに対して広い幅を有し得る、例えば、これに限定されないが、コア PZ 層 14 の 2~6% の範囲にできる。実際には、追加の PZ 層 25 の厚さは、コア PZ 層 14 の厚さの一桁以下となる傾向にある。

【0018】示されている実施例において、追加の PZ 層 25 は、第 1 の共振器 20 に対してのみ追加されている。

【0019】装置 10 を製造するために、空洞 21 と 31 は、エッチングされ、ガラスを充填されて後に溶解されるか他のやり方で除去されることによって空洞を形成

する。次に、底部電極22と32が、写真製版技術のような従来周知の技術を用いて作られる。次いで、コアPZ層14が、電極22と32の上に堆積される。PZ材料の厚さの異なる共振器20と30を製造するためには、PZ層の形成に多数の工程を必要とする。例えば、コアPZ層14は、第1と第2の底部電極22と32の両方の上に堆積される。次いで、二酸化ケイ素 SiO_2 のような犠牲材料の薄層（マスク）が、コアPZ層14の上に堆積される。この犠牲層は、図1には示されていないが、約20nmの厚さである。犠牲層は、コアPZ層14の第1の部分24を露出するようなパターンを備えており、第1の部分24は、共振周波数が低くなるような共振器のためのPZ材料である。これは、この実施例においては第1の共振器20である。

【0020】次に、追加のPZ材料（AlNのような）が、この実施例において約110nmの追加のPZ層25を形成する基板全体に堆積される。次に、装置10は、追加のPZ層25が残されるべき領域を保護するようにフォトリソストを用いてパターン化されるために、装置10は、犠牲層を除去するようにエッチング剤によって処理される。エッチング剤は、希釈されたフッ化水素酸（HF）であって、このHFの濃度に対応して約1分間程度の処理を受ける。そのようにすることで、追加のPZ材料が、共振周波数が変化されない第2の共振器30上から除去される。しかしながら、第1の共振器20を保護しているフォトリソストに対して、追加のPZ層25は残留する。実施例の構成において、約110nmの厚さを備えた追加のPZ層25は、第2の共振器30の共振周波数に比較して約3%共振周波数を低くする。一つの例としてこの技術を使うことにより、共振周波数は、1~8%低下させられる。

【0021】最後に、表面電極28と38が作られ、空洞21と31が、溶解あるいは他のやり方で除去され、共振器20と30がそれぞれ空洞21と31の上に懸架されるようにする。

【0022】2. 酸化により表面電極を質量負荷する薄膜共振器の製造

図2において、本発明の第2の実施例による装置40が示されている。装置40は、基板42上に製造された第1の共振器50と第2の共振器60を有している。一つの例として、基板42は、シリコン基板でよい。

【0023】共振器50と60は、メカニカルウェーブを用いる音響共振器である。そのため、示されている共振器50と60は、それぞれ空洞51と61の上に作られている。装置40における第1の共振器50は、第1の空洞51の上に作られ、底部電極52（「第1の底部電極」）、PZ層54（「第1のPZ層」）、および、表面電極56（「第1の表面電極」）を含んでいる。第1のPZ層54は、大きなコアPZ層44の一部分（「第1の部分」）でよい。電極52と56は、モリブ

デンから作られ、PZ層54は、窒化アルミニウム（「AlN」）から作られる。しかしながら、電極とPZ層とは他の適当な材料で作ってもよい。

【0024】装置40における第2の共振器60は、第2の空洞61の上に作られ、底部電極62（「第2の底部電極」）、PZ層64（「第2のPZ層」）、および、表面電極66（「第2の表面電極」）を含んでいる。第2のPZ層64は、コアPZ層44の一部分（「第2の部分」）でよい。

【0025】一つの例として、第1の表面電極56は、二つの部分、導電体部分57と酸化された導電体部分58を備える。導電体部分57は、モリブデンを含み、酸化された導電体部分58は、酸化モリブデンを含む。第1の表面電極56は、空気と熱に曝されたとき徐々に酸化される導電体を使って作ることができる。この第1の表面電極56は、無制限に酸化される性質を備えていることが望ましい。すなわち、薄膜が受ける酸化の量を制限するような対酸化被膜を形成しないのがよい。酸化特性の検討のためには、例えば、C. A. Hampelによって編集されたEncyclopedia of the Chemical Elements、Reinhold Book Corporation、New York、1968、p. 419が参考になる。第1の表面電極56に使える多数の導電体の酸化特性は、G. V. Samsonov編集によるThe Oxide Handbook、IFI/Plenum Publishers、New York、1973が参考になる。

【0026】第1の表面電極56は、第2の共振器60における第2の表面電極66のような導電体層のみからなる普通の表面電極から製造を始められる。そのような第1の表面電極56が形成された後、装置40は、熱と空気に曝されて第1の表面電極56の表面を酸化して導電体酸化層58（酸化された導電体部分58）を形成する。第2の表面電極66と装置40の他の部分は、マスクを用いて酸化処理中は保護されている。マスクは、二酸化ケイ素他の硬質のマスクング材料である。第1の表面層58が十分に酸化されると、マスクは除去される。

【0027】例えば、第1の共振器50が上述したような寸法を備えているとき、第1の共振器50は、約300℃の空气中で約1時間加熱されて約5MHzあるいはそれ以上の共振周波数低下が得られる。熱を連続的に加えることで、第1の共振器50の共振周波数を、第1の表面電極56の酸化前の第1の共振器50の共振周波数に比較してあるいは第2の共振器60の共振周波数に比較して1~3%低下させることができる。

【0028】第1の共振器50を製造するために、第1の底部電極52、第1のPZ層54を含むコアPZ層44、および、第1の表面電極56が、従来周知の方法で作られる。次いで、表面電極56が酸化される。酸化

は、空気中で第1の共振器50を加熱することによって実行できる。熱を連続的に加えながら、共振器を常時監視することによって、第1の共振器50における共振周波数低下の程度が、制御可能となる。例えば、第1の共振器50の共振周波数は、約1〜6%の範囲で低下できる。

【0029】3. 表面電極の質量削減による薄膜共振器の製造

図3Aと図3Bに、本発明の第3の実施例による装置70と70aが示されている。図3Bの装置70aは、処理後の図3Aの装置70に相当する。従って、図3Bの装置70aにおける部材は、図3Aの装置70として示されているものに類似している。便宜上、装置70における対応する部材に類似する装置70aにおける部材は、同じ参照番号を付与され、類似しているが異なる部材は、文字「a」を伴う同じ番号を付与され、および、異なる部材は、異なる参照番号を付与される。

【0030】本発明の図示されている実施例に従って基板上に共振器を製造するために、底部電極層72が、基板71上に作り上げられる。図1における装置10あるいは図2における装置40と同様に、装置70は、空洞81（「第1の空洞」）を備え、この空洞の上に共振器80（「第1の共振器」）が、製造される。もちろん、第1の空洞81は、底部電極層72の製造前にエッチングされて充填されることができる。第1の空洞81上の底部電極層72のセクション（「第1のセクション」、通常、参照番号82によって示される）は、共振器

（「第1の共振器」）80のための底部電極82（「第1の底部電極」）として機能できる。第2の空洞91上の底部電極層72の他のセクション（「第2のセクション」、通常、参照番号92によって示される）は、他の共振器（「第2の共振器」）90のための底部電極92（「第2の底部電極」）として機能できる。ここで、第1の底部電極82と第2の底部電極92は、図示のように接続できる。あるいは、底部電極82と92は、図1における底部電極22と32と同様に分離しても良い。当該発明の技術を説明するためには、この設計的な選択は、重要ではない。

【0031】底部電極層72の上に、PZ層74が作られる。再び、一つの例として、PZ層74は、窒化アルミニウム（AlN）でよいが、他の適当な圧電材料であっても良い。次に、表面電極層76が、PZ層74上に形成され、この表面電極層76は、所定の厚さ（「第1の厚さ」）を備える。例えば、上述された1900MHz共振器に対して、表面電極層76は、100nmの厚さを持つことができる。次いで、表面電極層76の選択された領域（一般的にカッパ79で示されている）が、部分的にエッチングされる。すなわち、表面電極76の材料（例えば、モリブデン）が、除去されて表面電極76の薄い層を備えた選択領域79を生じる。簡単のため

に、選択領域79の厚さは、ここでは「第2の厚さ」と呼ぶことにする。図3Aは、本発明による部分的なエッチング処理後の装置70を示している。

【0032】最後に、選択領域79を備えた表面電極層76は、パターン化されて第1の表面電極79aと第2の表面電極77aを形成する。第1の表面電極79aと第1の底部電極82は、第1の共振器80を形成するPZ層74の部分84（「第1の部分」）を挟持する。第2の表面電極77aと第2の底部電極92は、第2の共振器90を形成するPZ層74の他の部分94（「第2の部分」）を挟持する。これらの処理は、第2の共振器90の共振周波数よりも高い共振周波数の第1の共振器80を備えた装置70aを生じる。

【0033】表面電極層76を部分的にエッチングするために、表面電極層76の選択領域79外は、マスクされる。次いで、選択領域79とマスクされた領域を含む装置70は、エッチング剤で処理される。エッチング剤は、希釈されたフッ化水素酸（HF）であることができ、HFの濃度に従って、処理は約1分間である。あるいは、表面電極層76は、イオンミリング、フォトレジスト、スパッタエッチング他の技術を用いてエッチングされる。この発明の目的のために、表面電極層76をエッチングするために使われる実際の技術は、ここで挙げた方法に限定されない。最終的に、マスクは除去される。マスクの典型的な材料は、二酸化ケイ素（SiO₂）である。マスキングおよびエッチング処理は、従来周知である。

【0034】共振器に関して、例えば、150μm×200μmの大きさと、約1,900MHzの共振周波数を備えている第1の共振器80に関して、表面電極層76は、当初に約150nmの厚さを有することができる。部分的なエッチング処理が、数十nm、例えば、約20nmを削除して約3%だけ第1の共振器80の共振周波数を増加させる。一つの例として、選択領域79における表面電極層76の厚さの1〜30%が削除され、厚さの減少の程度に対応して約1〜6%だけ第1の共振器80における共振周波数が増加する。

【0035】4. 底部電極に質量負荷する薄膜共振器の製造

図4は、本発明の第4の実施例による装置100を示すものである。装置100は、基板102の上に作られた第1の共振器110と第2の共振器120を備えている。一つの例として、基板102は、シリコン基板である。

【0036】共振器110と120は、メカニカルウェーブを用いる音響共振器である。そのために、図示されている共振器110と120のそれぞれは、それぞれ空洞111と121上に作り上げられる。装置100における第1の共振器110は、第1の空洞111の上に作られ、底部負荷電極113と第1の底部コア電極112

の組み合わせである底部電極（「第1の底部電極」）、PZ材料114（「第1のPZ材料」）、および、表面電極116（「第1の表面電極」）を含んでいる。第1のPZ材料114は、PZ層104の一部分（「第1の部分」）である。図示の実施例において、電極112、113および116は、モリブデンから作られており、PZ層104は、窒化アルミニウム（「AlN」）を用いて作られている。しかしながら、他の適当な導電体材料が、電極のために使われても良い。同様に、他の適当な圧電材料も、PZ層104に使える。一つの例として、第1の底部コア電極112と底部負荷電極113が、同一の材料から作られる。

【0037】装置100における第2の共振器120が、第2の空洞121の上に作られ、底部電極122（「第2の底部電極」あるいは「第2の底部コア電極」）、PZ材料124（「第2のPZ材料」）および表面電極126（「第2の表面電極」）を含んでいる。第2のPZ材料124は、PZ層104の一部分（「第2の部分」）でよい。

【0038】ここで、第2の底部電極122と第1の底部コア電極112は、厚さと大きさが等しい。従って、第1の底部電極（以後、第1の底部コア電極112と底部負荷電極113の組み合わせを「112+113」と呼ぶ）は、第2の底部電極122よりも厚い。例えば、一つの例として、第1の底部コア電極112と第2の底部電極122は、約150nmの厚さでよく、底部負荷電極113は、第1の底部コア電極112に10~100nmの範囲で任意の厚みを加えることができる。これにより、第1の共振器110は、第2の共振器120よりも低い共振周波数を備えることになる。一つの例として、第1の共振器110の共振周波数は、1~6%の範囲だけ第2の共振器120の共振周波数よりも低くなる。

【0039】第1の共振器110を製造するために、底部負荷電極113が、まず作り上げられる。次いで、第1の底部コア電極112が、底部負荷電極113の上に作られる。次に、PZ層104が、作られる。最終的に、第1の表面電極116が、PZ層104の上に作られる。図示のように、底部負荷電極113は、第1の空洞111をまたいでいる。

【0040】装置100を製造するために、底部負荷電極113が、まず作られる。次いで、第1の底部コア電極112と第2の底部コア電極122が作られ、第1の底部コア電極112は、底部負荷電極113の上に作られる。次に、PZ層104が作られ、PZ層104は、第1の底部コア電極112の上に第1の部分114と、第2の底部コア電極122の上に第2の部分124を有する。最終的に、第1の表面電極116と第2の表面電極126が、それぞれ第1の部分114と第2の部分124の上に作られる。

【0041】5. 表面電極の質量負荷とオーバーエッチングを行なう薄膜共振器の製造

図5Aと図5Bにおいて、装置130と130aが、本発明の第5の実施例を説明するために使われる。図5Bの装置130aは、処理後の図5Aの装置130を示している。従って、図5Bにおける装置130aの部材は、図5Aの装置130として示されているものと同じものである。便宜上、装置130における対応する部材に類似している装置130aの部材は、同じ参照番号が付与され、類似しているが異なる部材は、文字「a」を伴う同じ番号を付与され、および、異なる部材は、異なる参照番号を付与される。

【0042】本発明の図示されている実施例に従って基板132の上に共振器140と150を製造するために、第1の底部電極142と第2の底部電極152が、作られ、これらの電極は、それぞれ第1の空洞141と第2の空洞151にまたがっている。

【0043】次いで、圧電（PZ）層134が、両方の第1と第2の底部電極142と152に作られ、PZ層134は、第1の底部電極142の上に第1の部分144と第2の底部電極152の上に第2の部分154を有している。次に、表面電極層136が、作られ、表面電極層136は、第1の部分144の上に第1のセクション146と第2の部分154の上に第2のセクション156を有している。次に、表面負荷層138が、第1のセクション146の上に作られ、好ましくは第1のセクション146全体を覆うようにする。表面負荷層138は、導電性材料、絶縁材料、あるいは、その両方を含み、材料の限定はされないが、モリブデン、窒化アルミニウムあるいは二酸化ケイ素を含んでいる。次いで、表面負荷層138は、オーバーエッチングされて第1の表面電極（エッチングされた表面負荷層148と第1のセクションの組み合わせあるいは148+146）を形成する。すなわち、表面負荷層138と表面電極層136は、同時にエッチングされて第1の表面電極148+146を形成する。もちろん、SiO₂層のようなマスク層が、エッチング剤から電極148+146および156をパターン化するために使われる。

【0044】第2の表面電極156は、第1の表面電極148+146を作る工程と同じ工程で作ることができる。表面電極層136の第2の表面セクション156上には負荷電極が存在しないので、第2のセクション156を残して第2の表面電極156とし、および、第1の表面電極148+146を残しつつ、表面電極層136は、表面電極層136の他のすべての部分を削除するようにエッチングされる

【0045】単一の共振器、例えば、第1の共振器140を作るために、底部電極142が、まず作られる。次いで、PZ層134、表面電極層136、および、表面負荷層138が、順次作られる。表面負荷層138は、

表面電極層 136 の第 1 のセクション 146 を覆うことが好ましく、第 1 のセクション 146 は、表面電極 148+146 の一部分となる。最終的に、表面負荷電極層 138 と表面電極層 136 は、エッチングされ、第 1 の共振器 140 の表面電極 148+146 を形成する。これらの層 138 と 136 は、二つの工程でエッチングされる。しかしながら、一つの例として、これらは、一つの工程でエッチングされ、あるいは、オーバーエッチングされる。オーバーエッチングのために、表面負荷層 138 が、まずマスクされる。次いで、表面負荷層 138 と表面電極層 136 がエッチングされると同時にこれらの層のマスクされていない部分が除去される。マスクングには、二酸化ケイ素 (SiO_2) が使える。

【0046】共振器に対して、例えば、約 $150\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ の大きさを備えたとともに約 1,900MHz の共振周波数を備える第 1 の共振器 140 に対して、底部電極 142 と表面電極層 136 は、それぞれ約 150nm の厚さを有することができ、PZ 層 134 は、約 2100nm の厚さを有することができ、および、表面負荷層 138 は、10~100nm の範囲の厚さ、あるいは、表面電極層 134 の厚さの約 1~6% の厚さを有することができる。1 つの実施例で、この技術を使って、第 1 共振器の共振周波数を 1~6% 低くなる。

【0047】6. 圧電層を質量削減する薄膜共振器の製造

図 6A と図 6B において、装置 160 と 160a は、本発明の第 6 の実施例を説明するために示されている。図 6B の装置 160a は、処理後の図 6A の装置 160 を示している。従って、図 6B における装置 160a の部材は、図 6A における装置 160 の部材と同じである。便宜上、装置 160 における対応する部材と同一の装置 160a の部材は、同じ参照番号が付与され、類似しているが異なる部材は、文字「a」を伴う同じ番号を付与され、および、異なる部材は、異なる参照番号を付与される。

【0048】本発明の図示されている実施例に従って基板上に共振器を作るために、底部電極層 162 が、基板 161 の上に作られる。図 1 の装置 10 あるいは図 2 の装置 40 と同様に、装置 160 が、空洞 171 (「第 1 の空洞」) を備え、その上に共振器 170 (「第 1 の共振器」) が作られる。もちろん、第 1 の空洞 171 は、底部電極層 162 の形成前にエッチングされて充填されている。

【0049】第 1 の空洞 171 上の底部電極層 162 のセクション (一般的に参照番号 172 で示されている「第 1 のセクション」) は、共振器 (「第 1 の共振器」) 170 に対する底部電極 172 (「第 1 の底部電極」) として機能することができる。第 2 の空洞 181 上の底部電極層 162 の他のセクション (一般的に参照番号 181 で示されている「第 2 のセクション」) は、

他の共振器 (「第 2 の共振器」) 180 に対する底部電極 182 (「第 2 の底部電極」) として機能することができる。ここで、第 1 の底部電極 172 と第 2 の底部電極 182 は、図示のように接続されることができる。あるいは、底部電極 172 と 182 は、図 1 の底部電極 22 と 32 のように分離されることもできる。本発明のこの技術を説明するためには、この設計事項は、重要ではない。

【0050】底部電極層 162 の上には、PZ 層 164 が、作られる。再び、PZ 層 164 は、一つの例として窒化アルミニウム (AlN) であるが、他の適当な圧電材料から構成しても良い。次に、コア PZ 層 164 の選択された部分 (一般的にカッコ 169 で示されている) が、部分的にエッチングされる。エッチング工程は、PZ 層の任意の場所を 1~30% 削除することができて PZ 層の厚さの減少によって 1~6% だけ形成される共振器 170 の共振周波数を増加させる。図 6A は、本発明による部分的なエッチング工程後の装置 160 を示している。

【0051】最終的に、表面電極層 176 が、第 1 共振器 170 が形成している PZ 層 164 の部分的にエッチングされた部分 174 の上に作られる。

【0052】PZ 層 164 を部分的にエッチングするために、PZ 層 164 の選択された部分 169 が、マスクされる。次いで、選択された部分 169 とマスクされた領域を備えた装置 160 は、エッチング剤で処理される。エッチング剤は、希釈されたフッ化水素酸 (HF) であることができ、 HF の濃度に従って、処理は約 1 分間である。あるいは、PZ 層 164 は、イオンミリング、フォトレジスト、スパッタエッチング他の技術を用いてエッチングされる。この発明の目的のために、PZ 層 164 をエッチングするために使われる実際の技術は、ここで挙げた方法に限定されない。最終的に、マスクは除去される。マスクに使われる典型的な材料は、二酸化ケイ素 (SiO_2) である。マスクングとエッチング処理は、従来周知の技術である。

【0053】共振器に対して、例えば、約 $150\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ の大きさを備えたとともに約 1,900MHz の共振周波数を備える第 1 の共振器 170 に対して、PZ 層 164 は、約 2,100nm の厚さを備えることができる。選択された部分的にエッチングされる部分は、1~30% 薄くすることができ、第 1 の共振器 170 の共振周波数を 1~30% だけ増加することができる。

【0054】装置 160 と 160a は、第 2 の空洞 181 上に作られた底部電極 182、PZ 層 184 (「第 2 の部分」)、および、表面電極 186 を備えた第 2 の共振器 180 を設けることも可能である。この場合、PZ 層 164 の第 2 の部分 184 は、部分的にエッチングされていない。

【0055】以上の説明から、本発明が新規なものであ

り、従来周知の技術よりも優れていることが明らかになったと思われる。本発明は、単一の基板の上に異なる共振周波数を備えたFBARを形成する技術を開示するものである。本発明における特定の実施例が、図示されて説明されたが、この発明は、図示され説明されたような特定の形態あるいは配置に限定されるものではない。例えば、異なる構造、大きさ、あるいは、材料が、本発明を実施するために使える。本発明は、特許請求の範囲によって限定される。しかしながら、本発明の実施者への参考のために、下記に本発明の実施態様の幾つかを例示する。

【0056】（実施態様1）基板（132）上に共振器（140）を製造する方法において、底部電極（142）を作り、圧電（PZ）層（134）を作り、表面電極層（136）を作り、表面負荷層（138）を作り、前記表面負荷層（138）をオーバーエッチングし、前記表面負荷層（138）と前記表面電極層（136）が、表面電極（146+148）を形成するようにエッチングする共振器の製造方法。

【0057】（実施態様2）前記オーバーエッチングする工程が、前記表面負荷層（138）をマスキングし、前記表面負荷層（138）をオーバーエッチングして前記表面負荷層（138）のマスキングされていない部分と前記表面負荷層（138）のマスキングされていない前記部分下方の前記表面電極層（136）の部分とを削除するようにした実施態様1に記載の共振器の製造方法。

（実施態様3）前記マスクが、二酸化ケイ素（SiO₂）である実施態様2に記載の共振器の製造方法。

【0058】（実施態様4）前記表面負荷層（138）が、約10～100nmの厚さである実施態様1に記載の共振器の製造方法。

（実施態様5）前記表面負荷層（138）が、導電性材料を含む実施態様1に記載の共振器の製造方法。

（実施態様6）前記表面負荷層（138）が、絶縁性材料を含む実施態様1に記載の共振器の製造方法。

（実施態様7）前記表面負荷層（138）と前記表面電

極層（136）が、同一の材料を含む実施態様1に記載の共振器の製造方法。

【0059】（実施態様8）前記PZ層（134）が、窒化アルミニウム（AlN）を含む実施態様1に記載の共振器の製造方法。

（実施態様9）前記共振器（140）が、空洞（141）をまたぐようにした実施態様1に記載の共振器の製造方法。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図2】本発明の第2の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図3A】本発明の第3の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図3B】本発明の第3の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図4】本発明の第4の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図5A】本発明の第5の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図5B】本発明の第5の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

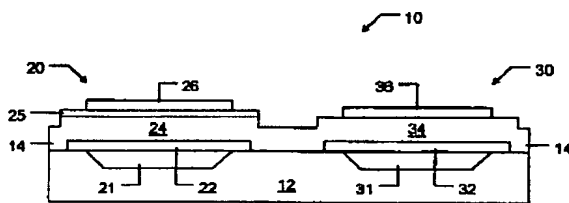
【図6A】本発明の第6の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図6B】本発明の第6の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

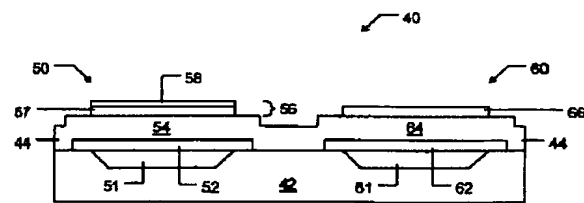
【符号の説明】

- 132 基板
- 134 コア圧電（PZ）層
- 136 表面電極層
- 138 表面負荷層
- 140 共振器
- 146 表面電極層136の第1のセクション
- 148 エッチングされた表面負荷層

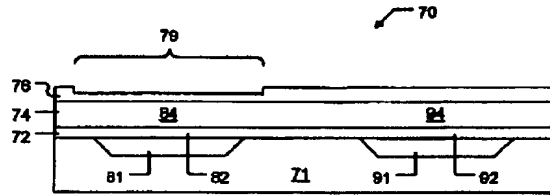
【図1】



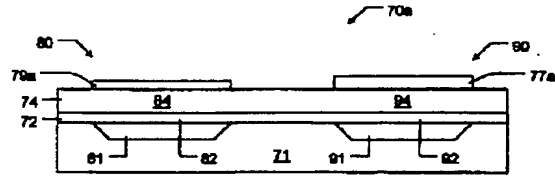
【図2】



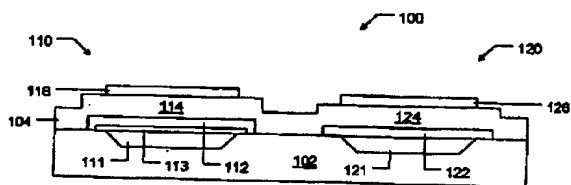
【図3A】



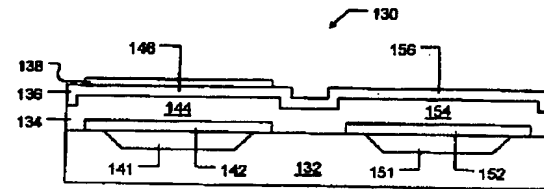
【図3B】



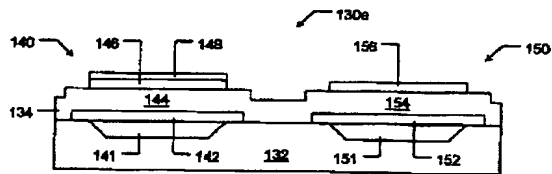
【図4】



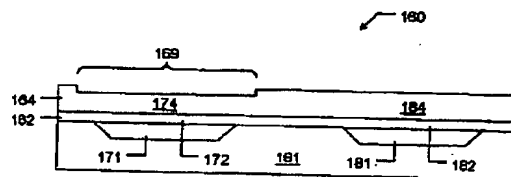
【図5A】



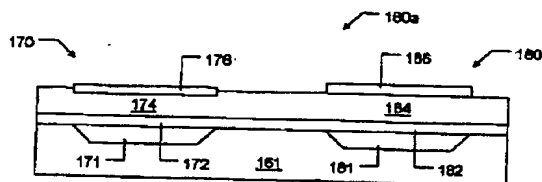
【図5B】



【図6A】



【図6B】



フロントページの続き

(72)発明者 リチャード・シー・ルビー
アメリカ合衆国カリフォルニア州メンロ・
パーク ナインス・アベニュー567
(72)発明者 ジョン・ディー・ラーソン・サード
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロ・ア
ルト テネーソン・アベニュー143

(72)発明者 ポール・ディー・ブラッドリー
アメリカ合衆国カリフォルニア州マウンテ
ン・ビュー アパートメント120 ファイ
エット・ドライブ2680
Fターム(参考) 5J108 AA07 BB08 CC11 EE03 EE04
FF03 KK02 MM11 MM14